判断热力过程吸热与放热的一种简便方法

严子浚
(厦门大学物理系,厦门 361005)
(收稿日期:2002-01-23)

摘 要 本文给出判断热力过程吸热与放热的一种简便方法,并作些有意义的讨论.
关键词 热力过程;吸热;放热;热容

A HANDY WAY FOR DETERMINING GAINING OR LOSING HEAT IN A THERMODYNAMIC PROCESS

Yan Zijun
(Department of Physics, Xiamen University, Xiamen 361005)

Abstract In this paper, we developed a handy way for determining gaining or losing heat in a thermodynamic process.
Key Words thermodynamic process; gaining heat; losing heat; heat capacity

文献[1]给出了判断热力过程吸热与放热的功热比法和作图法. 但应用这两种方法时,都需要先作出绝热线. 而有了绝热线,则可直接进行判断,根本不需要所谓的功热比法或作图法. 为此,本文作进一步讨论.

众所周知,热容 $C>0$ 的过程升温时必吸热、降温时必放热, $C<0$ 的过程升温时必放热、降温时必吸热,而 $C=0$ 的过程为绝热过程,无论升温或降温都不与外界交换热量. 于是,某一热力过程究竟是吸热还是放热,可由其热容的正负作出判断. 据此,本文给出了一种基于热容判断热力过程吸热与放热的简便方法,并以理想气体过程为例进行讨论.

1 理想气体任一过程的热容

考虑 1mol 理想气体的准静态过程,由热力学第一定律

$$\mathrm{d}Q = C_V \mathrm{d}T + p\mathrm{d}V \tag{1}$$

可得气体在任一给定过程 $p=f(V)$ 的热容

$$C_f = C_V + p\left(\frac{\partial V}{\partial T}\right)_f \tag{2}$$

其中 p 为压强, $\left(\frac{\partial V}{\partial T}\right)_f$ 为气体在该过程中体积 V 随温度 T 的变化率, C_V 为定容热容, $f(V)$ 为 V 的某一函数. 再利用微分关系

$$\left(\frac{\partial V}{\partial T}\right)_f = \left(\frac{\partial V}{\partial T}\right)_p + \left(\frac{\partial V}{\partial p}\right)_T\left(\frac{\partial p}{\partial T}\right)_f \tag{3}$$

和理想气体状态方程 $pV=RT$,可得

$$\left(\frac{\partial V}{\partial T}\right)_f = \frac{R}{f(V) + V\mathrm{d}f(V)/\mathrm{d}V} \tag{4}$$

将式(4)代入式(2),并利用过程方程 $p=f(V)$,可得[2]

$$C_f = C_V + \frac{R}{1+D} \tag{5}$$

其中 $D=\mathrm{d}\ln f(V)/\mathrm{d}\ln V$.

2 吸热与放热的判断规则

由式(5)可知,只要根据过程方程 $p=f(V)$ 求出 D,再根据 D 的数值,便可确定过

程热容的正负,从而可判定所给过程究竟是吸热还是放热. 而由 D 的数值和式(5),可得如下五条判断规则:

(1) 当 $-D<1$ 时,$C_f>0$,升温(膨胀)过程吸热,降温(压缩)过程放热;

(2) 当 $-D=1$ 时,$C_f\rightarrow\infty$,等温过程,膨胀时吸热,压缩时放热;

(3) 当 $1<-D<k=C_p/C_V$ 时,$C_f<0$,升温(压缩)过程放热,降温(膨胀)过程吸热,其中 C_p 为定压热容;

(4) 当 $-D=k$ 时,$C_f=0$,绝热过程,既不吸热又不放热,过程方程为 $pV^k=B$(常数);

(5) 当 $-D>k$ 时,$C_f>0$,升温(压缩)过程吸热,降温(膨胀)过程放热.

3 规则的应用

应用上述规则,可对各种各样的热力过程的吸放热情况进行判断.

对于多方过程,过程方程为 $pV^n=A$(常数),从而有 $D=-n$. 于是按上述规则和 n 的数值,可容易进行判断得到结论. 例如:对于定压过程,$n=0$,按规则(1),可得知定压膨胀过程吸热,定压压缩过程放热;对于 $1<n<k$ 的过程(即介于等温与绝热过程之间的过程),按规则(3),可得知此类过程膨胀时吸热,压缩时放热.

对于非多方过程,按上述规则和 D 的数值,也可容易进行判断得出结论. 例如:

(1) 对于直线热力过程 $p=\alpha-\beta V>0$(其中 α 和 β 为两个正常数),可求得 $D=-\left(\frac{\alpha}{\beta V}-1\right)^{-1}<0$,并可推知当 $V=\alpha k/[\beta(1+k)]\equiv V_t$(切点体积)时,$-D=k$,该直线与绝热线相切. 而当 $V<V_t$ 时,$-D<k$,$V>V_t$ 时 $-D>k$. 再按上述规则,可知该直线过程从 $V<V_t$ 膨胀到 V_t 或从 $V>V_t$ 压缩到 V_t 时,即从绝热线下方(指 $pV^k<B$ 的区域,而 $pV^k>B$ 的区域为上方)趋向于切点的过程为吸热过程,反向的为放热过程. 因此,该直线过程单向进行时,$V=V_t$ 的点为其吸放热的转折点.

(2) 对于抛物线热力过程 $p=a+b(V-V_0)^2$(其中 a、b 和 V_0 为三个正常数),可求得 $D=2bV(V-V_0)/[a+b(V-V_0)^2]$. 而当 $V=[(1+k)V_0-\sqrt{V_0^2-ak(2+k)/b}]/(2+k)\equiv V_t$ 时,$-D=k$,抛物线与绝热线相切. 但若 $V_0<\sqrt{ak(2+k)/b}$,则不存在切点,这时抛物线与绝热线只相交而不相切. 相切时,抛物线也同样穿过绝热线而不改变吸放热的情况. 于是,按上述规则,该抛物线过程无论是否与绝热线相切,膨胀过程(从绝热线下方通往绝热线上方)为吸热过程,压缩过程为放热过程,不存在吸放热的转折点.

(3) 对于圆(或椭圆)热力过程 $p=p_0\pm\sqrt{k-(V-V_0)^2}$(其中 k、p_0 和 V_0 为三个正常数),也可如上二例求出 D,并从 $-D=k$ 求出该过程与绝热线相切的切点体积(计算结果有两绝热线与之相切,切点的体积分别为 V_{t1} 和 V_{t2}). 再按上述规则,同样可得从绝热线下方趋向于切点的热力过程为吸热过程,而从绝热线上方趋向于切点的热力过程为放热过程,相反的过程吸放热的情况相反.

4 吸热与放热的简便判断方法

上面应用基于过程的热容所得到的判断规则,对多方过程和三种不同的非多方过程的吸放热情况作了较全面的分析和判断. 但我们尚可从中归纳出一种简便的判断吸热与放热的方法. 即从 pV 图上任一点出发的热力过程,往通过该点的绝热线上方的为吸热过程,往下方的为放热过程,仅当过程进行中与另一绝热线相切并被折回(不穿过绝热线)时,才改变吸放热的情况,出现吸放热的转折,否则吸放热情况保持不变.

按此简便方法,只要确定了给定的热力过程与绝热线相切的点(即 $-D=k$ 的点),便可直接对其吸放热的情况作出结论. 这样,文献[1]中所列举的所有热力过程的吸放热情况均可直接得出,而勿需其所提供的功热比法或作图法. 例如:文献[1]中图2所示的直线过程 ACB,在绝热线的下方,并与绝热线相切于点 C,按简便方法,可直接得出过程 AC 为吸热过程,CB 为放热过程;图3所示的圆

热力过程 1234561,与两绝热线分别相切于点 1 和点 4,按简便方法,可直接得出过程 1234 为吸热过程,4561 为放热过程,点 1 和点 4 为吸放热的转折点;图 4 所示的过程 AB,从绝热线 AC 上的点 A 出发,往绝热线下方,按简便方法应为放热过程;图 5 所示的过程 AB,从绝热线 AC 上的点 A 出发,往绝热线上方,按简便方法应为吸热过程;图 6 所示的过程 AB,从绝热线 BC 的下方出发,到达点 B 时与绝热线相交于点 B,按简便方法应为吸热过程等等.

附: 文献[1]中图 2～图 6

可见,此简便方法对判断一热力过程究竟是吸热还是放热是很有用的,既简单又明确,并可直接得到结论. 因此,判断热力过程吸放热时,掌握好这种方法是很有裨益的.

参 考 文 献

[1] 高德文,王继红. 判断热力过程吸热与放热的两种方法[J]. 物理与工程,2001,**11**(3):26～28.

[2] 严子浚. 理想气体任一过程的热容及其应用[J],物理通报,1998,(2):4～5.

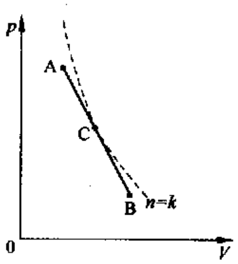

图 2

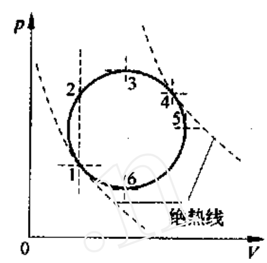

图 3

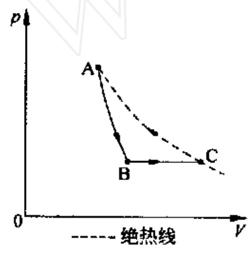

图 4

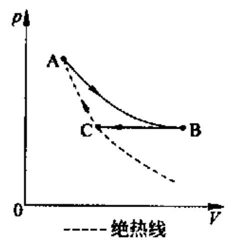

图 5

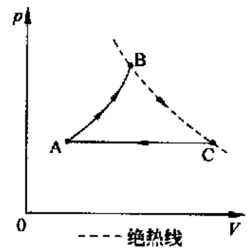

图 6

(上接第 13 页)

$$
\begin{aligned}
&= A_1^{-2} + A_2^{-2} + A_3^{-2} + 2A_1^- A_2^- \cos(\varphi_1 - \varphi_2) \\
&\quad + 2A_1^- A_3^- \cos(\varphi_1 - \varphi_3) \\
&\quad + 2A_2^- A_3^- \cos(\varphi_2 - \varphi_3) + \cdots \\
&< A_1^{-2} + A_2^{-2} + A_3^{-2} + 2A_1^- A_2^- + 2A_1^- A_3^- \\
&\quad + 2A_2^- A_3^- + \cdots \\
&= (A_1^- + A_2^- + A_3^- + \cdots)^2 = A^{-2}
\end{aligned}
$$

即 $A^{-\prime} < A^-$,即 $l \neq n\dfrac{\lambda}{2}$ 时负向波的合成波振幅小于 $l = n\dfrac{\lambda}{2}$ 时负向波的合成波振幅. 同理可证 $l \neq n\dfrac{\lambda}{2}$ 时正向波的合成波振幅不是最大,且此时 y^+ 与 y^- 合成波不能再看成驻波.

参 考 文 献

[1] 郑伯玮主编. 大学物理实验. 北京: 高等教育出版社,1989,145.

[2] 杨述武主编. 普通物理实验(力学,热学部分). 北京: 高等教育出版社,1993,220.

[3] 杜功焕等编. 声学基础(上). 上海: 上海科学技术出版社,1981,232.

[4] 朱鹤年编. 物理实验研究. 北京: 清华大学出版社,1994,226.